

인공 습지를 이용한 오수 정화 처리

Waste Water Treatment by Artificial Wetland

안 태 석 *

Ahn, Tae-seok

1. 생태공학이란?

지난 몇십 년간 환경오염문제를 해결하는 방법으로는 소위 「無放出(Zero discharge)」의 개념을 가진 환경공학이 주를 이루었다. 이 개념은 하수처리와 소각로 등의 환경공학적인 방법을 통하여 완벽하게 오염물을 방출하지 않을 수 있을 것으로 생각되었으나, 실제로는 그렇게 되지 못하였다. 완벽한 오염물질 제거라는 것은 실제로 가능하지 못하며, 오히려 새로운 문제를 일으키고 있는 것이다.

자연에서는 모든 물질은 순환하고 있고, 이 순환과정은 자연 생태계의 가장 중요한 기능이다. 자연의 순환고리를 오염물질 제거에 이용할 수 있지 않을까 하는 연구는 일찍부터 많은 연구자에 의하여 이루어져 왔다. 이러한 자연의 정화능력을 이용하는 방법을 생태공학(Ecological engineering)이라는 새로운 학문분야를 탄생시켰다. 생태공학이란 자연의 구조와 기능을 연구하는 생태학과, 오염물질을 제거하는 공학이 합쳐진 학문이다. 이 생태공학은 기존의 환경공학, 그리고 생물공학과는 다른 새로운 분야이다.

생태공학에는 몇 가지 원리와 기본 방향이 있다. 첫째, 오염물질의 성질에 따라 적용하는 방법이 달라져야 한다. 예를 들어 녹조 현상을 줄이기 위하여, 즉 부영양화 방지를 위하여 영양

염류의 제거에 목적을 둔 인공 습지, 자연 습지를 이용하는 것이 좋다. 유기물 제거는 부영양화 방지에 크게 기여하지 못하기 때문에 기존의 하수처리 시설은 호수와 하천의 녹조 발생을 억제하는 데에 큰 역할을 하지 못한다. 둘째, 생태계가 스스로 조절이 가능하여 운영이 되도록 설계한다. 이렇게 되면 관리비용이 적게 들며 태양에너지를 이용하여 생태계 스스로가 변화하게 된다. 한 예로 하수를 무단으로 인근 토양에 방류한 결과, 토양은 온갖 중금속으로 오염이 되었다. 이 경우 토양을 완전히 깨끗하게 할려면 엄청난 경비가 든다. 그러나, 여기에 식물을 심으면 1㎡당 수 그램의 중금속이 제거가 되는 것으로 나타났다. 이후에 이 식물을 수확하여 처리하는 것은 토양자체를 처리하는 것보다는 엄청나게 경비가 절약되었다. 셋째, 물질 순환 고리를 응용한다. 농토에 비료를 뿌리면, 뿌린 양의 일부만이 식물로 흡수되며 나머지는 하천과 호수와 바다로 흘러 들어간다. 따라서 농토에서 나오는 물을 다시 사용하면, 비료 사용량을 줄일 수 있다. 또한 농촌의 축산 폐기물도 적절히 이용하면 비료로 사용이 가능하며 이것도 하나의 예가 된다. 넷째, 생태계가 항상성(Homeostasis)이 있으므로 약간의 변화에는 견딜 수 있다는 점이다. 자연 생태계도 작은 변화에는 스스로 적응하므로, 항상성 내에서는 오염물질을 자연 스스로 정화할 수 있다. 이러한 성질을 이용하면,

* 강원대학교 환경학과

오염물질을 제거할 수 있다. 다섯째, 생물학적 다양성이 필요하고, 이 경우 생태계는 매우 안정된다. 따라서 생물의 다양성과 오염물질 제거는 밀접한 관계를 가지고 있으므로 생물의 다양성을 유지하게 된다. 여섯째, 생태계와 생태계 사이에는 전이 생태계가 꼭 있어야 한다. 하천과 인근 독은 뚜렷이 구분되는 것이 아니라, 수생식물과 침수 식물, 육상 식물들이 어우러지면서 경계가 불분명한 곳이 있다. 이 생태계는 다른 생태계보다 더 높은 자정능력과 생산성을 가지고 있으므로 보호하여야 한다.

하천을 콘크리트로 독을 만드는 것은 아주 자연을 망치는 것이며, 우리 고유의 풍수사상에서도 금기시하고 있는 부분이다. 외국에서는 하천의 콘크리트를 부수고 자연형 하천으로 다시 만들고 있으며, 국내에서도 몇 곳에서 시행하고 있다.

2. 생태공학의 응용 범위

이러한 개념을 가지고 생태공학을 적용할 만한 곳은 매우 많으며, 이미 선진 외국에서는 많이 이루어지고 있다. 콘크리트로 만든 직선형 하천을 부수고, 식물이 사는 구불구불한 자연형 하천, 자연 식생으로 유도한 호수의 연안, 인공적으로 만들어 놓은 떠 있는 섬, 인공습지 등의 많은 방법들이 있다(강원대학교 부속 환경연구소, 1996). 우리 나라도 근래 들어 자연 친화적인 방법을 응용하는 곳이 많다. 수원시가 하천을 보전하기 위한 방법을 사용하고 있고, 서울의 양재천을 자연친화형 하천으로 만들어 놓은 것과 군부대에서 부레옥잠과 갈대를 이용하여 오염물질을 정화하려는 시도도 생태공학의 분야들이다.

미국에서는 몇 개의 토목회사와 대학이 공동으로 인공 습지를 만들어 인근의 하천을 정화하는데에 이용하고 있으며, 일본에서는 부영양화가 심한 수와호의 수질을 개선하기 위하여 인공 습지를 만들어 운영하고 있다. 일본의 가스미가 우라호에서는 호수 연안 식생을 조성하여 유입 하천을 정화한 후 호수로 유입시키고 있으며,

같은 호수에서 바이오 파크와 인공 부도를 조성하여 호수 수질을 개선하는 방법을 시도하고 있다(과학기술정책관리연구소, 1996). 또한 강원도 광산 지역에서도 문제가 되는 산성 배수와 산업 하수를 이 생태 공학적 방법으로 해결할 예도 있다.

3. 오수정화 처리를 위한 인공 습지의 이용 사례

인공습지를 이용한 오수정화 처리에 관한 연구는 습지가 갖는 오염물질여과, 토사 유실방지, 산소생산, 영양염류 순환 등 수질보존의 기능을 인위적으로 창출하기 위한 것으로서 다른 나라에서 많은 연구가 수행되었다(Haberl et al., 1995). 유럽에서는 정수식물에 기초한 Surface Flow System과 Subsurface Flow System의 2가지 방식이 이용되고 있다. 독일, 덴마크, 영국, 유고슬라비아, 스위스 등의 유럽국가 등에 설치된 습지는 대부분이 기질을 모래와 자갈을 이용하고 사각형 모양을 하고 있으며 이들 중 268개 인공습지의 처리효율을 보면, BOD 80%, T-P 47% 등의 좋은 제거 효율을 보였다. 한편, Horizontal Flow System으로 덴마크에 설치된 71개의 인공습지 System의 처리효율은 BOD 80%, T-P 32%의 효율이었다.

우리 나라에서는 미나리, 부레옥잠, 생이가래 등과 같은 부엽 및 침수식물을 이용한 오수정화 처리에 관한 연구는 많이 있었으나 갈대, 주울, 부들 등과 같은 정수식물을 이용한 오수정화 처리의 연구사례는 거의 없는 실정이다(공 등, 1996).

4. 인공 습지의 설계에 고려 되어야 할 사항

수처리에 적용되는 습지 System은 처리 목적을 달성하기 위하여 여러 식물의 조합으로 설계되며, 완전한 처리 공정도를 갖기 위하여 여러 개

의 종래 처리시설과 혼합하여 사용된다. 특히 40~400m³/day의 소규모 처리장에서는 Imhoff tank, Septic tank 등을 통한 전 처리 후습지 System을 적용하며, 400~4000m³/day 규모의 처리장에서는 전 처리로 혐기성산화, 산화지 등과 같은 방식의 전 처리 후 2차 처리로 습지 System을 이용한다.

하수처리를 위해 사용되는 습지 System은 우점하는 식물에 의한 분류와 산소전달 및 하수 흐름에 의해 각각 분류가 가능하다. 식물에 의한 분류는 습지에서 자라는 습지식물의 생활사에 의해 부유식물법(Free floating system), 정수식물법(Rooted emergent system), 침수식물법(Submergent system)으로 분류할 수 있다. 부유식물법은 부레옥잠, 개구리 밥 등과 같이 식물의 뿌리는 토양에 고착되지 않고 물 속에 떠 있으며, 입과 줄기 등 수표면 위에 있는 식물을 이용하는 방법이며, 정수식물법은 갈대, 주울, 부들 등과 같이 뿌리를 물 속의 땅에 고정시키고 줄기와 잎도 물의 밖에서 햇빛을 직접 보는 식물을 이용하는 방법이다. 또한 침수식물법은 가래, 마름 등과 같은 물 속에서 자라는 식물을 이용하는 방법으로 햇빛이용의 제한성 등으로 수처리에 있어서 비효율적이다.

하수의 흐름과 산소전달에 의한 분류는 지표 흐름법(Surface flow system), 지하 흐름법(Subsurface flow system), 수직 흐름법(Vertical flow system)으로 분류된다.

이 중 지표흐름법은 오염물질을 제거하는데는 덜 효과적이지만 자연습지에 가까우며, 지하 흐름법은 유럽에서 많이 이용되고 있고, 미국에서도 1987년 이후 점차 지표 흐름법이 증가하는 추세를 보이고 있다 (Brown and Reed, 1994).

습지는 지역성과 적용성 때문에 습지를 설계하는데 있어 여러 가지 사항을 고려해야 한다. 자연적인 처리를 이용할 수 있는 디자인은 비용이 적게 들고 장기간 이용이 가능하지만 조직적으로 설계된 시스템과 같이 조절 및 예측이 가능할 수가 없다. 또한 설계는 목적과 장소에 의해 많은 영향을 받으며, 습지 건설은 매우 복잡

한 생태공학을 요구하기 때문에 습지를 설계하는데는 다음과 같은 많은 요소를 신중하게 고려하여야 한다.

가. 수리학적 조건

수리학적 조건은 습지설계의 가장 큰 변수이며, 조성된 습지의 대부분이 실패 원인이 되기도 한다. 수리학은 습지의 기능을 결정할 만큼 중요한 고려 요소이며, 수리학적 상태를 서술하는데는 유속, 체류시간, 유역(Basin), 계절적 변동, 수심, 우기 등이 포함된다.

나. 유입수의 화학적 조건

물이 습지로 유입될 때 여러 종류의 화학물질도 함께 유입된다. 농촌지역에 위치한 습지는 퇴적물과 인, 질소 등과 같은 영양염류, 농약으로 인한 미량원소도 함께 유입될 수 있으며, 조사지역에서는 기름, 염 등과 같은 다른 오염물질이 유입될 수 있다. 습지설계에 있어서 유입되는 화학물질의 양과 조성은 습지 조성의 목적을 달성하기 위한 제 요소의 산출을 위해 중요한 요소가 된다. 습지조성의 목적이 영양염류 제거라면 유입되는 인, 질소의 양과 처리수질의 인, 질소농도에 의해 습지의 면적과 수리조건이 결정될 수 있으며 자세한 수식은 생략한다.

다. 바닥 토양 및 기질

기질은 조성된 습지에서 식물을 지지하고, 성장시키기 위한 역할을 하고 있으며, 심토는 포화된 토양이나 물을 보유할 수 있는 낮은 투수성을 갖고 있어야 한다. 또한 기질은 수질 향상을 위한 화학물질의 제어에 중요한 기여를 하고 있으며, 습지 설계에 있어서도 중요하게 고려되어야 할 것이다. 토양 및 기질의 유기물 함량, 토양 구성, 기질의 깊이, 식생 등이 고려되어야 한다.

라. 습지식물의 선택

습지식물은 지역적인 환경조건을 고려하여 선택해야 하며, 이러한 지역적 환경조건에는 기온의 계절적 평균과 변화요인, 광주기, 빛의 강도, 우기 및 강수량, 바람의 강도와 빈도, 이상 기후가능 등을 포함하는 기후조건과 기질의 특성, 지역의 동식물의 조성 등을 고려하여야 한다. 또 습지 내에 식물을 번식시키기 위한 방법 중 식물 식재 방법은 식물의 근경(Rhizomes), 괴경(Tuber), 온상에서 씨앗을 재배하여 이식하는 방법이 있으며, 이 중 습지 환경에 쉽게 적응하는 장점 때문에 온상에 의한 방법보다는 조성된 습지의 주변에서 이식하는 방법이 가장 이상적이다. 식물의 식재는 식물 채취 후 36시간 이내에 심어져야 하며, 온상의 식물을 이용한다면 같은 기후조건하에서 가급적 빠르게 운반되어야 한다(Allen et al., 1989). 식물이식 시기는 대체로 봄과 가을이 좋으며 겨울철 회유성 동물의 식물 섭식으로 손실되는 것을 줄이기 위해 가급적 봄에 심는 것을 권장하고 있다 (Garbisch, 1989).

또 파종에 의한 방법은 비교적 넓은 지역에 습지를 조성할 필요가 있을 때 이용된다. 파종을 위한 씨앗은 생존력과 씨앗의 중을 정확히 검사해야 한다.

습지 내에 흐르는 물이 없을 때 파종을 하여야 하며 파종된 습지식물이 발아하기 시작하면 수위를 낮추는 기간이 필요하다. 파종된 식물이 뿌리를 내리는 시운전 기간은 2~3년 정도가 소요되고 그 이후 충분한 Litter-Sediment 지대가 형성되는 데는 2~3년이 더 소요된다(Kadlec, 1989).

5. 수질정화 기작

습지는 갈대, 주울, 부들 등의 습지식물과 습지식물을 지지하고 미생물의 부착 매체인 자갈, 토양, 그리고 오염물질 분해 등 수질 정화에 가장 중요한 기능을 수행하는 미생물로 구성된다. 습지에서의 수질정화는 습지를 구성하고 있는

이들 세 가지와 다른 여러가지 기작에 의하여 이루어진다.

가. 토양의 역할

습지에서 토양의 공극은 물로 포화되며, 이러한 물은 용존 산소의 확산을 방해하기 때문에 대부분의 뿌리나 미생물의 활동에 필요한 산소공급량이 크게 부족하게 된다. 습지 토양의 환원상태에서는 과잉의 이산화탄소와 2가 철, 각종 유기산 및 기타 유기물의 분해 중간 산물 등의 유해물질이 생성되며, 이로 인해 주위 토양에 비해 낮은 pH 값을 나타낸다(임, 1986). 또한 습지에서의 표층은 산소공급이 용이하여 산화층을 생성하며 이와 같이 생성된 얇은 산화층 밑에는 산소가 없는 환원층으로 되어 있다. 따라서 습지식물들은 육상의 식물들과 달리 통기조직이 발달되어 이를 통해 뿌리 활동에 필요한 산소를 공급하고 있으며, 이로 인해 습지토양은 주변의 토양과 다른 Eh나 pH와 같은 물리화학적 특성을 갖고, 뿌리 주변에 방출되는 산소의 일부는 산화환원전위를 높여 유해 환원물인 H_2S , CH_4 , Fe^{++} 등을 산화시키고, 무기이온의 존재형태에 영향을 주어 영양소의 이용효율을 변화시키며 유기물의 분해를 촉진시킨다. 수처리를 위한 습지토양은 미생물 부착의 표면을 제공하며 부유 고형물, 병원성균, 바이러스 등의 여과와 흡착, 인산염과 철, 알루미늄, 칼슘과의 공침, 황화물과 중금속의 침전, 유기-금속-인산염 착물로서 침전 등에 관여한다. 이 과정의 연속성으로 인한 인과 중금속, 퇴적물의 축적은 인공습지의 수명을 결정하며, 계속적인 습지의 효율적인 이용을 위하여 퇴적물의 준설이 요구된다.

나. 습지식물의 역할

물이 포화된 습지토양과 배수가 잘되는 토양 사이의 근본적인 차이점은 산소의 이용성이다. 물에서 산소의 확산은 느리기 때문에, 포화된 토양은 표면에서 몇 mm를 제외하고는 혐기성이

된다. 따라서 식물은 이러한 독특한 습지환경에서 자랄 수 있는 특성을 지녀야 한다. 습지에서 수생식물 그 자체는 수처리에 있어서 매우 작은 기여를 하고 있으며, 이들의 기능은 수처리 능력을 향상시키기 위한 수생 환경을 제공하는 것이다. 즉, 수생식물의 주요 기능은 물 속에 있는 줄기와 뿌리의 경우 오염물질을 흡수하고 박테리아 성장을 위한 매체를 제공하며, 수층의 입자성 물질과 전기적으로 반대의 전하를 대어 입자성 물질의 제거를 위한 흡착과 여과의 기능을 하고 있다.

물 표면과 물위에서의 줄기와 잎은 햇빛을 차단하여 물 속에서 조류의 성장을 억제하고 바람의 효과를 감소시켜 침전물의 침전성을 향상시키며, 대기와 수층 사이의 열과 가스의 교환을 감소시켜 습지에서의 안정된 온도로 동절기에도 처리 효율성을 갖게 된다(Stowell et al., 1981).

또한 통기 조직을 통해 산소를 뿌리 주위로 전달시켜 미생물의 유기물 분해활동을 촉진시키며, 미생물의 유기물 분해를 통해 생성된 영양염류는 식물의 영양원이 될 뿐만 아니라 식물이 합성한 유기물과 대사물질은 다시 미생물의 먹이원이 되고 중금속이나 방사성 물질을 흡수하거나 유기물질을 직접 흡수하여 효소활동으로 대사하기도 한다. 이상의 기능 외에도 잔사성 소비자의 서식처를 제공하여 유기물질의 분해를 촉진시키고, 완충작용으로 유기물의 과부하 또는 부족 시에도 미생물 군집의 안정을 유지시키는 기능도 가지고 있다. 습지에서 식물의 가장 중요한 역할은 산소의 전달이다. 뿌리 부근으로 산소의 전달은 농도 차에 의한 확산과 온도 차에 의한 대류현상에 의하며, 산소 전달율은 식물조직내부의 산소농도, Medium의 산소 요구량, 뿌리 벽의 산소투과성 등에 의해 결정되며, 방출되는 산소의 양은 학자에 따라 $0.02 \sim 12 \text{g/m}^2/\text{day}$ 등으로 학자에 따라 다르게 추정하고 있다. 식물을 주기적으로 제거하면, 다음과 같은 효과가 있다. 모기의 발생과 물의 정체를 감소시키고 식물의 다양성 및 분열에 의

하여 식물 개체수가 증가한다. 습지에서 식물의 제거는 영양염류를 최대치로 보유하고 있을 때와 식물생장이 끝났을 때도 1년에 2번 제거가 적당하며, 식물생장이 끝난 후 식물의 제거는 동절기 보온재 역할측면에서는 다음해 봄에 제거하는 것이 적당하지만 얼음층 형성에 의한 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 휘발성 제한을 막기 위해서는 얼음층이 형성된 후 갈대를 제거하여 갈대의 통기조직을 통한 가스의 교환이 이루어지도록 하는 것이 좋다고 한다(Hong and Weiran, 1995).

다. 미생물 군집의 역할

미생물은 유기물질을 분해하여 무기물화 하고, 탈질, 질산화 과정으로 질소를 제거하며, 유기인을 무기인으로 변화시켜 식물로 흡수되게 하는 역할을 한다. 인공 습지에서의 중요한 역할은 뿌리 권에서 공생하는 미생물 군집에 의한 물질 전환이다.

라. 병원균의 제거

습지에서 질병을 유발하는 Bacteria와 Virus, 기생충 등은 물리적, 화학적, 생물학적으로 제거되며 기존의 처리시설과 비교하여 낮은 비용으로 처리 가능한 장점을 갖는다. 습지에서의 병원성균의 제거 기작은 식물체에 의한 기계적 여과작용, 생물막에 흡착, 침전 등의 물리적 과정과 산화와 햇빛, 수생식물에서 분비되는 물질에 의한 사멸 등과 같은 화학적 과정, 항생 작용, 제한 요소들로 인한 경쟁, 선충류와 원생생물에 의한 포식, 세포의 사멸 등의 생물학적 과정 등이다.

6. 습지의 운영 및 관리

인공습지는 자연순환 고리를 이용하고 태양에너지 이용한다는 점에서 초기 투입된 경비 외에 운영비가 거의 들지 않는 점과 관리소요가 적은 장점이 있다. 반면에 자연생태와 변화를 정확

히 파악하지 못한 만큼 예상하지 못한 문제점이 발생할 가능성도 있다. 일반적으로 나타나는 문제점은 습지에서의 악취발생과 모기 등과 같은 병원성 매개체의 개체수 증가 등이며 효율성 향상을 위한 식물의 제거 등의 관리가 요망된다.

가. 식물제거

습지에서의 식물은 오염물질의 직접적인 흡수의 차원보다는 습지 전체의 수처리 기작에 있어서 매우 다양한 부수적인 기능을 수행하며, 따라서 조성된 습지에서 식물의 제거는 습지의 관리 차원에서 매우 중요한 분야라 할 수 있다. 또한 제거된 식물체를 퇴비, 사료 등으로 이용하는 것도 새로운 연구 분야이다.

나. 모기 등 해충의 제어

습지는 병원성이 생물의 서식처가 될 수 있으므로 모기와 같은 해충의 발생은 습지의 운영과 관리에 있어서 효과적으로 통제되어야 할 주요한 분야이다. 습지에서 모기발생은 과부하와 혐기적 조건에 의해 용존 산소 농도가 1mg/l 이하에서 주로 발생하게 되는데 이를 방지하기 위하여 효율적인 전 처리로 유기물 부하율을 낮추고 유입수의 분배와 유입오수의 재순환을 갖는 Step-Feed 방식 및 폭기 등의 방법으로 일정한 DO농도의 유지가 필요하다. 그 밖에 모기 제어를 위한 방법으로 모기를 포식하는 물고기의 이용 등을 제안하고 있다.

다. 악취의 제어

대부분의 수생 식물 처리 시스템에서 냄새는 Mercaptan과 H₂S 등과 같이 혐기성 조건에서 발생한다. 보통 수생식물 처리시스템의 유입부분 근처에서 혐기성 상태가 나타나며, 이곳에서 악취가 많이 발생한다. 악취를 제어하기 위하여 보다 효과적인 전 처리로 수생식물 처리 시스템에 총 유기물 부하를 줄이는 것이고 유입수의

분배와 유입오수 흐름의 Step-Feed와 재순환 및 폭기 등과 같은 방법이 요구된다.

라. 기타

습지의 관리 및 유지를 위하여 계절적 변화와 불안정한 상태의 정도 및 빈도수 등이 가급적 크지 않도록 하는 것이 필요하다(Willard et al., 1989). 이러한 것은 습지를 설계하는데 있어서 이용된 설계요소가 실제의 상태와 일치되는 것이 아니기 때문이며, 따라서 습지의 설계시 습지의 기능이 지속적으로 균형을 이룰 수 있도록 최악의 상태를 대비하여 설계하고 계획되어야 한다. 또한 습지에서의 종 다양성은 안정된 생태계를 유지하기 위하여 필요하지만, 습지 식물을 제거하거나 병들게 하는 야생동물 및 병원균 등은 제어되어야 한다. 습지의 장기간 운영에 따른 퇴적물의 축적과 오염물질로의 포화는 습지의 효율성을 저하시키므로, 습지의 효율성 증가를 위하여 퇴적물의 준설 등과 같은 방법이 요구된다.

7. 국내의 적용사례

인공습지를 이용하여 오수정화 처리를 하기 위하여 군부대내에 인공 습지를 1997년 4월에 설치하여 운영하였다. 인공습지를 조성하기 위하여 사용된 습지식물은 갈대와 달뿌리 등이고 기질은 가는 모래를 사용하였다. 기질은 모래를 이용하였으며 습지설치 지점으로부터 약 3km 지점에 떨어져 있는 강가의 모래를 차수막 바닥으로부터 60cm 깊이로 충전시켰으며 소요된 모래는 약 240m³이다. 2m 폭의 200m 길이로 Plug Flow System을 만들기 위해 사용된 차수막 지지대는 2.5cm 두께의 목재 판자를 각목 양쪽으로 고정하여 설치하였으며, 차수막은 습지 바닥으로 투수를 방지하기 위해 바닥 10cm두께로 처리한 진흙 위에 설치하였고 차수막을 설치하였다.

인공 습지에 식재한 갈대(Phragmites com-

munis, P. japonica)는 들, 하천변, 갯벌습지에 흔히 군생하며 자생한다. 갈대와 달뿌리 풀은 다년생 습지식물로서 높은 농도의 수질에서도 생존성이 좋고, 생명력이 강하며, 전국 도처에 분포하고 있어 재료의 이용이 용이하고 여러 방법의 번식기들을 이용할 수 있어 실험재료로 선택하였다. 식물 이식은 조성된 습지로부터 약 300m 떨어진 곳에서 서식하고 있는 갈대를 근경 개체수 단위와 전체 Mat로 이식하였다.

인공습지로 유입되는 수량은 25~40m³/day, 유입수의 BOD는 100ppm이었는데, 약 2일간의 체류 기간 후에는 20ppm으로 떨어져 80%의 제거 효율을 나타내었다. 부영양화의 원인물질인 질소와 인도 40%의 제거 효율을 나타내었다. 하수처리 시설에서 이 정도로 처리하려면 엄청난 비용이 들어가는 고도의 정화처리시설을 거쳐야 한다. 더 중요한 사실은 인공습지를 거치면서, 오염물질들이 자연상태로 동화되어 배출되는 물이 계곡 물과 합쳐진 후에 별다른 문제를 일으키지 않았다는 것이다. 이전에는 이 지역에서 맑은 계곡에 많은 사람들이 놀러 왔다가 배출수에 의하여 물이 더럽혀지고 이끼가 끼는 등의 변화 때문에 민원이 많았던 지역이었으나, 설치가 된 이후에는 민원이 발생하지 않았다. 이러한 갈등해소에 기여한 점만으로도 인공습지의 효과는 충분하다고 본다. 또한 생물상이 변화하고 있어, 처음에는 갈대만 있었던 지역에 지금은 다른 식물들이 들어와서 살고 있고, 각종 곤충, 개구리와 뱀까지 들어와 있다. 가끔은 포유류의 배설물도 발견이 되어 이곳이 새로운 생태계로 정착되고 있음을 알 수 있었다.

8. 결 론

생태공학의 큰 장점은 생태계를 이용하기 때문에 태양에너지가 기본적인 운영에너지로 작용함으로 운영 관리비용이 저렴하다는 것이다. 또한 자연의 순환 고리를 이용하여 자연계로, 오염물질을 돌려보냄으로써 새로운 오염원이 없다는 장점도 있는 반면에 단점도 많다. 넓은 부

지를 필요로 하고, 생물을 이용하기 때문에 계절적인 변화도 크다. 특히, 얼음이 어는 겨울철에는 생물활성이 낮기 때문에 기대하는 만큼의 효과를 얻기 어려운 점이 있고, 독성물질이 포함된 경우도 생물이 자라기 어렵기 때문에 어려운 점이 있다. 또 오염물질이 처리되는 것이 아니라, 오염물질이 생물체내로 이동하는 것이라는 비판도 있다.

이러한 비판이 전적으로 틀린 것은 아니다. 이 방법은 자연 친화적인 방법일 뿐 완전한 것이 아니며, 기존의 환경공학적인 방법을 완전히 대체할 수 있는 것도 아니다. 이 방법을 독자적으로 적용할 수도 있으며, 환경공학 방법과 상호보완적인 방법으로 사용할 수도 있다.

앞으로 이 생태공학은 널리 사용될 수 있는 방법들이다. 따라서 이 방법이 가지고 있는 효과는 매우 크며, 무엇보다도 자연의 순환 고리를 응용하여 오염물질이 처리되는 과정을 시민들에게 보여줌으로써 “버리고 잊어버리는(Drop and forget)” 행동방식이 잘못되었음을 보여 줄 수 있는 교육의 효과가 가장 크다고 할 수 있다. 하수처리시설은 모든 오염물질을 제거할 수 있는 것처럼 느껴지는 반면, 생태공학은 오염물질의 종류에 따라 가능한 경우와 불가능한 경우가 있으므로, 환경 윤리적 측면을 강조하는 면에서 함부로 버린다는 것이 얼마나 위험한가를 가르쳐줄 수 있는 방법이 된다.

참고문헌

1. 강원대학교 부속 환경연구소. 1996. 한일지방간 생태 공학적 수질 개선 공법에 관한 심포지엄 논문집.
2. 공동수, 천세억, 정원화, 김종택, 김종민, 류재근, 1996. 호소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구 (II). NIER NO. 96-17-488. pp:47~52.
3. 과학기술정책관리연구소. 1996. 강원도-나가노 현간 생태공학적 호수 수질 개선 공법의 비교 연구.
4. 임선옥, 1986. 최신 토양학 통론. 운문당. Allen, pp. 304.

5. H. H. , G. J. Pierce, and R. Van Wormer, 1989. Considerations and techniques for vegetation establishment in constructed wetlands. In Constructed wetlands for wastewater treatment, D. A. Hammer (ed.), Lewis Publishers, Inc. , Chelsea, Mich. , pp. 405~416.
6. Brown D. S. and C. Reed, Sgerwood 1994. Inventory of constructed wetlands in the united states. Wat. Sci. Tech. 29:309~318.
7. Garbisch, E. W. , 1989. Wetland enhancement, restoration, and construction. In Wetlands ecology and conservation: Emphasis in Pennsylvania, S. K. Majumdar (ed.), The Pennsylvania Academy of Science, Easton, Pa. , pp. 261~275.
8. Haberl, R., R. Perfler and H. Mayer, 1995. Constructed wetlands in Europe. Wat. Sci. Tech. 32:305~315.
9. Hong Yin and Weiran Shen, 1995. Using reed beds for winter operation of wetland treatment system for wastewater. Wat. Sci. Tech. 32:111~117.
10. Kadlec, R. H., 1989. Hydrologic factors in wetland water treatment. In Constructed wetlands for wastewater treatment, D. A. Hammer (ed.), Lewis Publishers, Chelsea, Mich. , pp. 21~40.
11. Stowell, R. , R. Ludwig, J. Colt, and G. Tchobanoglous. 1981. Concepts in aquatic treatment system design. J. Environ. Eng. 107:74~82.
12. Willard, D. E. , V. M. Finn, D. A. Levine, and J. E. Klarquist, 1989. Creation and restoration of riparian wetlands in the agricultural medwets. In Wetland creation and restoration, J. A. Kusler and M. E. Kentula (eds.), Island Press, Washington, D. C. , pp. 327~337.

약 력

안 태 석



- 1976. 서울대학교 자연대학 미생물학과 졸업
- 1978. 서울대학교 대학원 이학석사
- 1985. 서울대학교 대학원 이학박사
- 1991. 독일 막스 플랑크 육수학 연구소 연구원
- 현재 국제 육수학회 한국 대표
강원대학교 부속 환경연구소 소장
강원대학교 환경학과 교수